海洋安全學會誌 第2卷 第1號, pp. 97~106, 1996. 1.

論 文

퍼지 積分을 導入한 階層構造의 評價 알고리즘

여 기 태* · 노 홍 승** · 이 철 영***

On the Evaluation Algorithm of Hierarchical Process using λ-Fuzzy Integral

Gi-Tae Yeo · Hong-Seung Roh** · Cheol-Yeong Lee****

〈목 차〉

Abstract

One of the main problems in evaluating complex objects, such as an ill-defined system, is how to treat ambiguous aspect of the evaluation. Due to the complexity and ambiguity of the objects, many types of evaulation attributes should be identified based on the rational decision. One of these attributes is an analytical hierarchy process (AHP). The weight of evaluation attributes in AHP however comes from the probability measure based on the additivity. Therefore, it is not applicable to the objects which have the property of non-additivity.

In the previous studies by other researchers they introduced the Hierarchical Fuzzy Integral method or merged AHP and fuzzy measure for the analysis of the overlaps among the evaluation objects. But, they need more analyses in terms of transformation of the probability measure into fuzzy measure which fits for the additivity and overlapping coefficient which affects to the fuzzy measure.

Considering these matters, this paper deals that, i) clarifying the relation between the fuzzy and probability measure adopted in AHP, ii) calculating directly the family of fuzzy measure from the

* 한국해양대학교부설 항만연구소 연구원
** 부산발전연구원 위촉연구원
*** 정회원, 한국해양대학교 물류시스템공학과 교수

overlapping coefficient and probability measure. A simple algorithm for the calculation of fuzzy measures and set family of those from the above results is also proposed.

Finally, the effectiveness of the algorithm developed by applying this to the problems for estimation of safety in ship berthing and for evaluation of ports in competition is verified. This implied that the new algorithm gives better description of the system evaluation.

1. 序 論

複雜한 評價對象을 階層構造의 形態로 分析함으로써 意思決定을 보다 容易하게 하고자 하는 目的으로 여지껏 널리 사용되어 온 方法에는 階層分析法(Analytical Hierarchy Process-AHP)이라는 것이 있다. 그러나, AHP는 各 評價項目의 重要度를 加法性이 成立하는 比率測度로 構成하고 單純 加重法에 의하여 중요도들을 統合하는 방법을 취하고 있어 가법성이 성립하지 않는 대상을 평가할 때에는 그 적용에 어려운 문제가 있다. 本 論文에서는 이러한 점에 着眼하여 確率測度와 퍼지 測度와의 關係를 明確히 한뒤, 重複度係數와 確率測度로 부터 퍼지族을 직접 計算하고, 이러한 결과로 부터 퍼지 測度 및 퍼지 측도의 集合族을 간단히 計算하는 알고리즘을 提案한다. 그리고, 本 論文에서 提案한 알고리즘을 船舶接離岸의 安全性評價 및 港灣의 競爭力 評價問題에 適用하여 有效性을 檢證하기로 한다.

2. 階層 퍼지 積分法(Hierarchical Fuzzy Integral-HFI)의 構成 및 問題點

지금까지 階層化 意思決定法에 주로 사용되어 온 AHP의 特徵을 整理하면 다음과 같다.

첫째, AHP法은 모든 評價對象을 重要度로 評價하고, 둘째, 重要度는 項目間 一對比較에 의해 求하며, 세째, 重要度는 比率測度(相對測度)이고, 네째, 重要度는 加法性이 成立하여야 하며, 다섯째, 項目間 重要度를 統合할 때에는 單純加重法을 使用하고 있다.

그러나 AHP는 매우 간편한 계층구조 평가법이나 평가항목간에 독립성이 보장되지 않을 경우에는 적용할 수 없으며, 전체적인 평가를 중요도에만 의존하기 때문에 평가항목이 지닌 달성도 또는 잠재력을 평가하기가 어렵다는 결점을 지니고 있다.

AHP가 지닌 이러한 결점을 보완하기 위하여 제안된 것이 계층퍼지적분법(HFI)으로 그 내용을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, AHP의 相對比較(Pairwise Comparisons)에 의한 評價 項目의 重要度 w′를 이용하고, 둘째, AHP 評價 項目間 相互作用 係數 ζ를 아래의 式(2.1)과 같이 定義하여 相互作用效果를 考慮하며,

$$\zeta_{ij}=\begin{cases}\dfrac{\mu(X_i\cup X_j)-(\mu(X_i)+\mu(X_j))}{\mu(X_i\cap X_j)} & i\neq j\\ 0 & i=j\end{cases} \tag{2.1}$$

단, $\zeta_{ij}\in(-1,\ \infty)$

세째, 두번째 段階에서 얻은 評價 項目의 重要度 w와 評價 項目間 相互作用 係數 ζ로 부터 퍼지 測度 同定 係數 c′를 求하여, 이들로부터 모든 評價 項目으로 이루어진 評價 空間의 모든 集合族에 대한 퍼지 測度値 g(·)를 生成한다. 한편, 이 경우 퍼지 測度의 生成方法은 다음과 같다.

$$g(\sum_{i=1}^{\infty}x_i)=\frac{1}{\zeta}[\ \prod_{i=1}^{\infty}(1+\zeta\cdot g(x_i))-1]\ =1 \tag{2.2}$$

$$\frac{1}{\zeta}[\ \prod_{i=1}^{n}(1+\zeta\cdot c'\cdot w)-1]\ =1 \tag{2.3}$$

단, c′ : 퍼지 測度 同定 係數(Fuzzy Measure Identification Coefficient)

ζ : 相互作用係數

n : 評價項目의 個數

따라서, 式(2.3)은 階層 分析法의 相對比較로부

터 얻어진 規格化된 屬性間 相互作用 係數 ζ, 그리고, 屬性의 重要度 w를 常數로 한 퍼지 測度 同定 係數 c'에 관한 高次 方定式이 된다. 그러므로 式(2.3)의 퍼지 測度 同定 係數 c'에 관한 高次 方定式의 解를 求함으로써, 하나의 評價 屬性으로 된 퍼지 測度 $g(\cdot)$로 生成할 수 있게 된다. 그리고 이러한 生成 過程은 結果的으로 階層 分析法에서 求한 屬性의 重要度 w와 屬性間 相互作用 係數 ζ를 作用 시킨 것이므로 評價 屬性의 相互作用이 屬性間 重要度에 反映된 結果로 된다. 즉, 資料 또는 評價에 의해 評價對象에 대한 評價項目別 評價値 $h(\cdot)$를 求하며, 段階別로 評價 對象에 대한 評價 項目別 2評價値 h(X)와 모든 集合族에 대한 퍼지 測度値 $g(\cdot)$에 의해 段階 퍼지 積分을 計算하고, 最上位 階層에 이를 때까지 過程을 反復한다.

따라서 이러한 階層 퍼지 積分法(HFI)의 特徵을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 評價項目間에 存在하는 相互關聯性을 保障할 수 있도록 相互關聯係數의 槪念을 導入하고 있고,

둘째, 單調性을 滿足하는 퍼지 測度의 槪念을 導入하여, 相互關聯性 및 評價項目間의 獨立性을 保障함으로써 AHP의 長點을 살리고 있으며,

세째, 綜合的인 評價方法으로서는 評價項目이 지닌 潛在力 또는 達成度를 確保할 수 있는 퍼지 積分을 導入하고 있다는 側面에서 보다 一般的인 評價方法이라고 할 수 있다.

한편, AHP 및 HFI의 評價構造를 나타내면 Fig. 2.1 과 같다.

그러나, HFI도 다음과 같은 缺點을 지니고 있다.

AHP에서 구한 重要度와 相互關聯係數를 그대로 使用하기 때문에 퍼지 測度 및 퍼지 測度의 集合族을 計算할 경우, 補整係數를 假定하여 近似的인 퍼지 測度를 구하고 있고, 補整係數를 구하는 過程이 複雜할 뿐만 아니라, 基本的인 單調列로는 AHP에서 구한 重要度의 單調列을 그대로 使用하고 있으며, 綜合的인 評價時에 全階層에서 퍼지 積分을 採用함으로써 計算이 複雜하고, 경우에 따라서는 階層別 相互關聯係數를 求해야 하는 問題點이 생긴다.

따라서, 이러한 問題點에 對應할 수 있는 보다 綜合的인 評價方法이 必要하며, 이를 위해서는 AHP에서 구한 重要度와 相互關聯係數로 부터 直接 퍼지 測度를 求할 수 있는 方法이 必要하며, 階層이 複雜한 構造에 對應할 수 있는 보다 簡便한 綜合評價法을 構築할 必要가 있다.

3. 階層 퍼지 分析法(Hierarchical Fuzzy Process-HFP)

3.1 相互作用係數와 퍼지測度의 關係

一般的으로 λ-퍼지 積分에서는 n個의 評價項目에 대하여 2^{n-1}個의 觀測資料로 부터 重要度를 同定하게 되며, 이 경우 重複度를 나타내는 파라메터 λ는 外生的으로 주어지게 된다.

먼저, 퍼지 測度에 있어서 重要度 g_i와 λ의 관계에 대하여 살펴보기로 한다.

퍼지 測度의 一般型은 다음 式으로 주어진다.

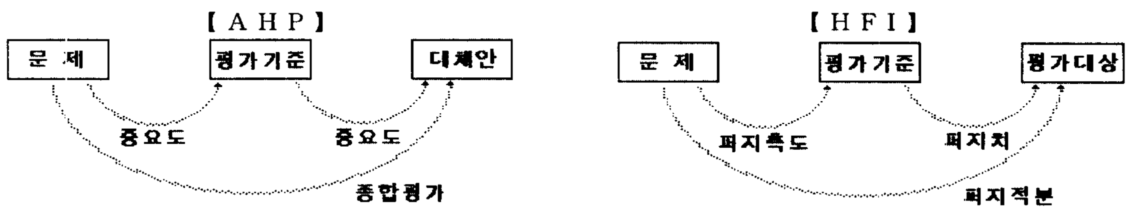


Fig. 2.1 Comparison of AHP and HFI in Evaluation Structure

$$g(X)=\frac{1}{\lambda}\left(\prod_{k=1}^{m}(1+\lambda\cdot g_i)-1\right) \quad (3.1)$$

단, $X=\bigcup_{i=1}^{m}A_i,\ g_i=g(A_i)$

만일, X가 퍼지집합의 특성을 충분히 표현하고 있다면, g(X)=1을 가정하고 있으므로, 式(3.1)은 다음의 式(3.2)로 변환이 가능하다.

$$\prod_{k=1}^{m}(1+\lambda g_i)-1-\lambda=0 \quad (3.2)$$

또한,

$$f(\lambda)=\prod_{k=1}^{m}(1+\lambda g_i)-1-\lambda=0 \quad (3.3)$$

으로 두고, 중요도 g_i가 λ에 미치는 영향 $\partial\lambda/\partial g_i$를 살펴보면 다음과 같다.

연속가능한 함수 F(·)를 식(3.4)로 두었을 때, 이를 전미분 하면 아래 식(3.5)가 된다.

$$F(\lambda,\ g_1,g_2,\ldots\ldots,g_m)=0 \quad (3.4)$$

$$F_\lambda d\lambda+F_{g_i}dg_i+\ldots\ldots..+F_{g_m}dg_m=0 \quad (3.5)$$

따라서, 식(3.3)으로 부터 F= $f(\lambda)-1$로 두면,

$$\frac{\partial\lambda}{\partial g_k}=-\frac{F_{g_k}}{F_\lambda} \quad (3.6)$$

단, $F_{g_k}=\lambda\prod_{i\neq k}^{m-1}(1+\lambda g_i)$

$$F_\lambda=(1+\lambda f(\lambda))\sum_{k=1}^{m}\frac{g_k}{1+\lambda g_k}-f(\lambda) \quad (3.7)$$

를 얻는다. 한편, λ가 外生的으로 주어지지 않을 경우에는 이를 近似的으로 計測하여 使用할 必要가 있다. λ를 近似的으로 計測하는 方法은 李哲榮[4][5]에 提案되어 있으므로 本 硏究도 같은 方法을 使用하기로 하며, 評價要素 i 및 j간의 相互作用 係數 λ_{ij}'를 다음과 같이 정의 한다.

$$\lambda_{ij}'=\begin{cases}(\mu(A_i\cup A_j)-(\mu(A_i)+\mu(A_j))/\mu(A_i\cap A_j) & i\neq j\\ 0 & i=j\end{cases} \quad (3.8)$$

단, $\lambda_{ij}'\in(-1,\infty)$

이 경우, λ_{ij}'의 성질은 다음과 같다.

i) $\lambda_{ij}'>0$ 이면 評價 屬性 X_i와 X_j간에 相互作用이 있는 境遇로서 評價 屬性 X_i와 X_j사이에는 相互 相乘 作用이 存在한다는 것을 나타내며,

ii) $\lambda_{ij}'<0$ 이면 評價 屬性 X_i와 X_j간에 重複性을 가져 相互 相殺作用이 있으며,

iii) $\lambda_{ij}'=0$ 인 境遇는 評價 屬性 X_i와 X_j 서로 완전히 獨立인 境遇를 나타낸다.

특히, 極端的인 境遇로써 $\lambda_{ij}'=-1$인 境遇, 評價 屬性間 重複이 極甚하여 獨立的으로 다룰 수가 없는 상태가 된다. 즉, 評價 屬性 X_i와 X_j중 어느 하나가 다른 하나에 包含되어서 包含된 評價 屬性을 除外해도 상관없는 境遇 이다.

式(3.8)에서 定義한 相互作用係數 λ_{ij}'를 導入함으로써 階層 評價의 一貫性을 維持하면서 相互作用性을 重要度에 反映할 수 있으므로, 同一 階層의 評價 屬性 사이에 반드시 獨立性이 保障되지 않더라도 취급할 수 있게 된다.

한편, 任意의 k 階層의 여러 屬性에 대한 評價를 統合하고자 할 境遇, 이들 評價 屬性들을 統合하는 評價는, 屬性間의 相互作用, 즉, 重複性 또는 相乘作用性으로 因하여 單純한 合의 形態로 되지는 않는다. 이러한 相互作用은 評價 屬性間의 重要度를 나타내는 벡터를 統合하는데에 使用하게 될 測度에 必히 考慮되어야 할 事項이다. 왜냐하면 評價 屬性間의 相互作用에 의해 評價가 달라지기 때문이다. 이와 같은 相互作用을 考慮한 測度로서 퍼지 測度 g_λ를 導入하여 이러한 問題에 對應하기로 한다. 또한, 評價 屬性間에 定義된 相互作用 係數 λ_{ij}' 값을 推定하고자 할 境遇에는 階層 퍼지 積分의 統合評價에 對備하기 위하여 値域을 퍼지 測度의 相互作用 係數 λ와 같도록 式(3.9)를 使用하여 値域을 變形한다.

$$\eta_{ij}=\begin{cases}\lambda_{ij}' & \lambda_{ij}'<0\\ 1-1/(1+\lambda_{ij}') & \lambda_{ij}'\geq 0\end{cases} \quad (3.9)$$

式(3.9)의 正規化에 의해 $\lambda_{ij}'\in(-1,\infty)$에서 $\eta_{ij}\in(-1,+1)$로 規格化될 수 있다. 實際로 η_{ij}의 값을 구하고자 할 境遇, 言語的인 表現 方法을 使用하여

求할 수 있으며, 이때 屬性間 相互作用이 있느냐 없느냐를 먼저 質問하게 되고 다음으로 重複作用이나 相乘作用 중 어느 하나에 대하여 質問하게 될 것이므로 値域은 自然的으로 0 및 (-1,0)과 (0,1)로 區分되게 된다. 단, 式(3.9)는 다음과 같이 變形된다.

$$\mu_i = \sum_{j=1}^{n} \lambda_{ij}' \quad / \; n-1 \qquad (i \neq j) \tag{3.10}$$

$$\lambda = \frac{\mu_i}{n}$$

한편, HFI에서는 相互作用係數 λ, 重要度 w를 使用하여 퍼지測度를 同定 하게 된다. 이 경우, 同定時에 생기는 問題點에 對하여 살펴 보기로 한다. 式(3.7)로 부터,

$$g(X) = \sum_{i=1}^{m} g_k + \phi(\lambda) \tag{3.11}$$

단, $\phi(\lambda) = \lambda \sum_{j \neq k} g_j \, g_k + \ldots\ldots\ldots\ldots + \lambda^{m-1} g_1 g_2 \ldots\ldots g_m$

가 되며, 여기에 λ, w를 대입하면,

$$g(X) = \sum g_i + \phi'(\lambda) \tag{3.12}$$

단, $\phi'(\lambda) = \lambda \sum_{j \neq k} w_j w_k + \cdots\cdots\cdots\cdots + \lambda^{m-1} \cdots w_1 w_2 \cdots w_m$

가 되어, $\delta = \phi(\lambda) - \phi'(\lambda)$만한 誤差가 발생하게 됨을 알 수 있다.

이 誤差를 補整하기 위하여 HFI에서는 補整係數 c를 導入하여 $g = c\,w$ 라 假定하고 있다. 그리고, 補整係數 c는 다음과 같이 求한다. 式(3.1)로 부터,

$$\frac{1}{\lambda}\left(\prod_{i=1}^{k}(1+\lambda \cdot c \cdot w) - 1\right) = 1 \tag{3.13}$$

式(3.13)을 補整係數 c에 대하여 整理하면 式(3.14)로 된다.

$$\lambda^{m-1} \, c^m w_1 w_2 \cdots w_m + \cdots\cdots\cdots\cdots + \lambda \sum_{j \neq k} w_j w_k + \sum w_i - 1 = 0$$

따라서, 式(3.14)를 c에 關하여 풀어 近似的으로 퍼지 測度를 求할 수 있게 된다. 그러나, 이러한 方法은 첫째, 式(3.16)으로 부터 알 수 있는 바와 같이 確率的인 重要度와 퍼지 測度 사이에 線形關係를 假定하는 點에 無理가 있고, 둘째, 補整係數를 求하는 過程이 복잡할 뿐만 아니라, 세째, λ값이 변할 때 마다 補整係數를 求해야 하고, 네째, 주어진 單調列의 重要度로 부터 補整係數를 求할 경우, 주어진 單調列의 內容에 따라 그 값에 差異가 생긴다는 缺點이 있다. 따라서, 이러한 缺點을 補完하기 위해서는, 加法性을 滿足하는 重要度를 퍼지 測度로 바로 變換하는 過程이 必要하다.

3.2 確率測度의 퍼지 測度로의 變換

앞 절에서도 指摘한 바와 같이, AHP에서 使用하는 比率測度는 加法性을 滿足하는 確率測度 이므로, AHP에서 구한 重要度를 λ-퍼지 積分에 適用하기 위해서는 確率測度와 퍼지 測度 사이의 關係를 明確히 할 必要가 있다. 아래에서는 이 問題에 대하여 살펴보기로 한다. 確率測度 및 λ-퍼지 測度는 각각 式(3.15),式(3.16)으로 定義할 수 있다.

確率測度

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B)$$

λ-퍼지測度

$$g_\lambda(A \cup B) = g_\lambda(A) + g_\lambda(B) + \lambda g_\lambda(A) g_\lambda(B) \tag{3.16}$$

단, $\forall A, B \in B,\ A \cap B = \emptyset,\ \lambda \in (-1, \infty)$

먼저, 두가지 測度를 比較하기 위하여 各 $\lambda \in (-1, \infty)$에 대하여 確率測度 P와 λ-퍼지 測度 g_λ 를 同型으로 하는 函數 $f_\lambda : I \rightarrow I$ 에 대하여 살펴보기로 한다.

$g_\lambda = f \circ P$를 만족하는 全單射의 연속함수 $f : I \rightarrow I$ 가 존재하는 것으로 가정하여 함수 f를 導出하기로 한다면, $u \equiv P(A)$, $v \equiv P(B)$, $x \equiv g_\lambda(A)$, $y \equiv g_\lambda(B)$ 라고 두었을 때, 式(3.15), 式(3.16)과

$x=f(u)$, $y=f(v)$, 및 $g_\lambda(A \cup B)=f(P(A \cup B))$ 로 부터 f는 다음의 式(3.17)을 만족하지 않으면 안된다.

$$f(u+v)=f(u)+f(v)+\lambda f(u)f(v) \tag{3.17}$$

우선, $\lambda \neq 0$로 한다면.
u=v일때,

$$f(2u)=((1+\lambda f(u))^2-1)/\lambda \tag{3.18}$$

가 된다. 따라서, 歸納法에 의하여 음이아닌 정수 n에 대한 다음의 식(3.19)가 성립 한다.

$$f(nu)=((1+\lambda f(u))^n-1)/\lambda \tag{3.19}$$

또한, m을 음이아닌 整數라 하고,

$u \equiv (m \cdot t)/n$ 이고, $t \in [0,1]$, $m/n \leq 1$ 라고 한다면,

식(3.19) 우변의 u를 $(m \cdot t)/n$라 하여, $f((m \cdot t)/n)$에 대하여 전개하였을 때 式(3.19)는 다음과 같이 변화된다.

$$f(mt/n)=((1+\lambda f(\nu))^{1/n}-1)/\lambda=((1+\lambda f(t))^{m/n}-1) \tag{3.20}$$

식(3.20)에서, t=1이라 두고, f(1)=1을 考慮하면 아래의 式이 성립한다.

$$f(u)=((1+\lambda)^u-1)/\lambda \qquad (\lambda \neq 0) \tag{3.21}$$

따라서, 式(3.21)이 모든 有理數 $u \in [0,1]$ 에 대하여 성립하게 된다. 여기에서 f는 연속 으로 가정하였으므로, 式(3.19)는 모든 實數 $u \in [0,1]$ 에 대하여 성립하며, 특히 식(3.17)에서 $\lambda=0$일 때, Cauchy함수가 되어 f(1)=1과 연속성으로 부터 f(u)=u를 얻을 수 있게 된다.

지금까지의 과정은 모든 $\lambda \in (0,\infty)$에 대하여 성립한다.

따라서, 函數 f_λ 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$f_\lambda(u)=\begin{cases}((1+\lambda)^u-1)/\lambda & \lambda \neq 0 \\ u & \lambda=0\end{cases} \tag{3.22}$$

또한, 이를 逆으로 생각하여 보면, 式(3.22)에서 定義한 f_λ에 대하여 $g_\lambda=f_\lambda \circ P$가 式(3.15), 式(3.16)의 性質과 規格化 條件을 함께 만족한다는 것을 알 수 있다.

이상의 考察로 부터, 確率測度 u가 주어지면 퍼지 測度 g_λ를 직접 구할 수 있는 방법이 體系化되어 確率測度로 표현된 重要度를 퍼지 測度에 직접 도입할 수 있게 된다.

따라서 確率測度로 표현되는 AHP法에 의해 算出된 重要度는 式(3.22)에 의해 퍼지測度로 변환되며, 이 때 式(3.22)의 u 는 重要度 w(·)를 意味하며, $f_\lambda(u)$는 퍼지 測度 g(·)이다.

3.3 階層構造의 評價 알고리즘

지금까지 考察한 內容은 評價構造가 單層인 境遇를 中心으로 하였으나, 構造가 多階層인 경우에도 그대로 適用할 수 있다. 다만, 構造가 多階層인 경우에는 파라메터 λ를 어떻게 決定할 것인가가 問題가 된다. 그러나, 多階層인 경우, 評價順序는 下位階層으로 부터 이루어지며, 이미 下位階層에서 評價 項目間의 相互作用을 고려하였으므로, 上位階層의 項目은 相互作用이 없는 獨立的인 項目으로 다루는 것이 타당하다. 따라서, 綜合評價를 할 境遇에는, 첫째, 相互作用을 고려한 k 階層(最下位階層)의 評價는 퍼지積分을 利用하고, 둘째, k-1 階層 부터는 單純加重法을 使用할 수 있게 되어 綜合評價方法이 매우 簡便해진다. 예를 들어, Fig. 3.1과 같은 階層構造에 있어서, 最下位階層의 統合評價는 相互聯關性을 고려하여 式(3.23)과 같이 퍼지 積分을 導入하고,

$$H(X_{2,k-1}) = \int H(X_{\cdot k}) \circ g_{\cdot k}(\cdot) \tag{3.23}$$

K-1 層의 統合評價는, K層의 퍼지 積分의 結果를 퍼지값으로 看做하여 다음과 같은 單純加重法을 適用한다.

$$H(X_{2,k-1}) = g_{i,k-1} \circ H(X_{2,k-1}) \tag{3.24}$$

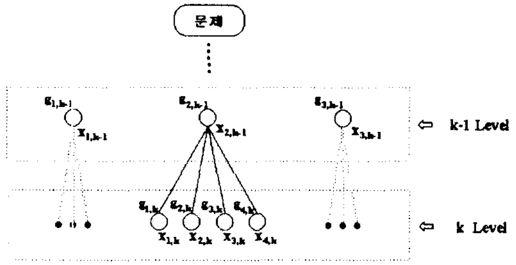


Fig. 3.1 Example of Hierarchy Structure

한편, 지금까지는 이미 構成된 評價構造에 對하여 다루었으나, 評價項目中에는 實質的으로 評價에 影響을 미치지 않을 정도로 重要度가 약한 項目이 포함되는 境遇가 있다. 그리고, 이러한 問題는 특히, 評價項目을 選定할 경우에 매우 중요한 考慮對象이 된다.

아래에서는 評價項目의 重要度를 考慮하는 問題에 對하여 살펴보기로 한다.

式(3-10)으로 부터, μ_i는 項目 (A_i)가 다른 項目을 같이 評價한 경우, 主觀的인 重要度에 關하여 다른 項目과의 重複度를 나타내고 있다. 즉, $\mu_i \geq 0$인 경우에는 平均的으로 보아 項目 A_i의 主觀的인 重要度가 다른 項目과 重複되지 않는다는 것을 나타내므로, 評價에 관한 項目으로 看做할 수 있다. 그러나, $\mu_i < 0$ 이라면 다른 項目과의 중첩이 있다는 것을 나타낸다. 따라서, 이러한 特性을 반영하여 다음과 같은 必要度係數를 定義한다.

$$\nu_i = 1 + \mu_i(1 - g_k) \qquad (-1 \leq \mu_i < 0) \quad (3.25)$$

式(3.25)는 重要度가 클수록, 또 μ_i가 0에 가까울수록, 즉, 平均的인 重疊이 작을수록 그 값이 크도록 되어 있다. 따라서, ν_k의 값에 적당한 threshold 값을 適用하여 評價項目의 必要性을 검토할 수 있다. 以上으로 부터, HFP의 評價 알고리즘을 정리하면 다음과 같다.

段階 1 : 階層分析法(AHP)에 의해 評價項目의 重要度 w 및 評價項目間의 相互作用係數를 調査한다.

段階 2 : 評價項目間의 重要度 w 및 評價項目間의 相互作用係數를 利用하여 퍼지 測度를 구한다.

段階 3 : 資料 또는 評價에 의해 評價對象에 대한 評價項目別 評價値 $h(\cdot)$를 구한다.

段階 4 : 最下位 階層에서는 評價項目別 評價値 $h(\cdot)$와 $g(\cdot)$를 사용하여 퍼지 階層積分으로 統合評價를 하며, 그 이외의 階層에서는 單純加重法에 의해 統合評價를 行한다.

4. 퍼지 階層 評價(Hierarchical Fuzzy Process-HFP)의 適用

本 硏究에서 提案하고 있는 새로운 퍼지 階層 評價(HFP)을 適用할 수 있는 分野는 多樣하나, 여기서는 發表된 硏究 中 旣存의 階層評價法을 이용한 硏究事例에 本 硏究에서 提案하고 있는 階層評價法을 適用하여 比較分析 하기로 한다.

4.1 船舶接離岸의 安全性評價

本 硏究事例는 「階層分析法에 의한 船舶 接離岸 安全性의 評價方案」으로, 當時 硏究의 目的은 同型의 船舶을 6名의 船長이 釜山 北港의 內港防波堤 入口에서 子城臺埠頭 #53船席에 接岸 시키는 시나리오를 구성하여 시뮬레이션을 施行함으로써 船舶의 接離岸 安全性에 影響을 미치는 要素를 데이타베이스로 구축하여 AHP法을 利用하여 評價하는 것이었다.

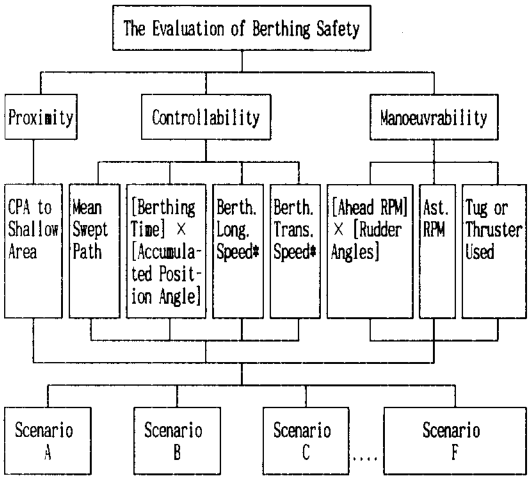


Fig. 4.1 Hierarchical Evaluation Structure of Berthing Safety

4.2 AHP에 의한 評價評評

接岸 縱速度는 目標船席 전방 1~2B에서는 0에 가까울수록 양호한 상태를 가진 것으로 평가했으며, 接岸 橫速度는 實驗設計 시나리오의 接岸이 左舷接岸이었으므로 目標船席 전방 1~2B에서는 曳船이나 쓰러스터를 이용하여 橫速度가 -10cm/sec에 가까울수록 양호한 상태의 橫方向 接岸速度라고 보았다. 前進時의 主機 回轉數와 使用舵角의 곱의 評價値에서는 엔진이나 舵는 가급적 적게 사용하여 接岸할 수록 양호한 것으로 평가했으며, 船舶操船上 後進時에는 主機 回轉數만을 評價項目으로 하였고, 後進推力이나 曳船 또는 船首尾 쓰러스터에 있어서는 그 값이 적을수록 좋은 값으로 평가되었다. 결과적으로 전제한 환경조건에 따라 시뮬레이션한 시나리오 A~F를 AHP法을 사용하여 평가한 결과는 시나리오A > 시나리오B > 시나리오E > 시나리오C > 시나리오F > 시나리오D 의 순서를 획득하였으며, 이를 통하여 상기의 순서대로 선박접안이 안전히 수행되었다는 것을 의미한다.

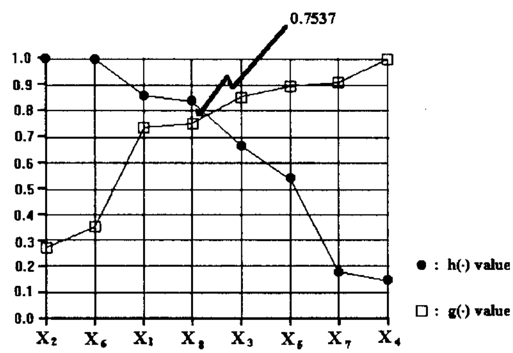
4.3 HFP에 의한 評價

HFP에서는 各 評價 項目이 相互 어느 정도 重複되어 있을 것이라는 것을 전제 하고 있기 때문에 이를 設問을 통하여 調査하였다. 항목간 중복도를 파악하기 위하여 각 2개 항목간의 중복성을 묻는 설문을 시행한 것 이외에는 AHP法에서 획득한 자료를 그대로 사용하였으며, 설문에서 추출된 2개의 問項間 重複度를 式(3.5)에 의해 計算한 결과 相互作用係數 λ는 -0.44로 계산되었다.

또한, 위의 알고리즘을 사용하여 구한 h(·)값과 g(·)값을 대입하면, 아래의 Table 4.1과 같은 표를 구할 수 있으며, 이를 아래의 Fig 4.2와 같은 방법으로 퍼지 積分을 수행함으로써, 각 시나리오의 評價値들을 구할 수 있다.

Table 4.1 h(·) and g(·) value for F-integral of Scenario A

퍼지값 h(·)		측도값 g(·)		평가치
$h(X_2)$	1.000	$g(X_2)$	0.2810	0.7537
$h(X_6)$	1.000	$g(X_2,X_6)$	0.3450	
$h(X_1)$	0.860	$g(X_2,X_6,X_1)$	0.7368	
$h(X_8)$	0.830	$g(X_2,X_6,X_1,X_8)$	0.7537	
$h(X_3)$	0.680	$g(X_2,X_6,X_1,X_8,X_3)$	0.8520	
$h(X_5)$	0.540	$g(X_2,X_6,X_1,X_8,X_3,X_5)$	0.8976	
$h(X_7)$	0.180	$g(X_2,X_6,X_1,X_8,X_3,X_5,X_7)$	0.9128	
$h(X_4)$	0.150	$g(X_2,X_6,X_1,X_8,X_3,X_5,X_7,X_4)$	1.0000	



시나리오 A의 퍼지 評價値 = 0.7537

Fig. 4.2 Fuzzy integral value of Scenario A

Table 4.2 Moving in Rank of Scenarios by AHP to HFP

	Rank			Moving
	AHP	⇨	HFP	
Scenario A	①	⇨	①	-
Scenario B	②	⇨	②	-
Scenario C	④	⇨	③	△1
Scenario D	⑥	⇨	⑤	△1
Scenario E	③	⇨	⑥	▼3
Scenario F	⑤	⇨	④	△1

5. 結 論

多數의 評價項目間의 重要度를 求하는 代表的인 方法으로 AHP法이 많이 사용되었다. 그러나 이러한 AHP는 一對比較에 의해 比率測度(相對測度)인 重要度를 구하고, 그 統合은 單純加重法을 使用한다는 特徵을 가지고 있었다. 그러나 項目間 重要度는 加法性이 成立할 때에만 使用可能하여 그렇지 아니한 對象에 대하여는 適用이 不可能한 것이 커다란 缺點으로 指摘되었다. 따라서, 이러한 問題點을 解決하는 方案, 즉, 加法性의 條件을 緩和하는 評價方法이 필요하였으며, 퍼지 積分(HFI) 評價法이 매우 有用한 解決策으로 提示 되어 있다.

그러나, HFI가 지닌 缺點은 AHP에서 구한 重要度와 相互關聯係數를 그대로 使用하기 때문에 퍼지 測度 및 퍼지測度의 集合族을 計算할 경우, 補整係數를 假定하여 近似的인 퍼지 測度를 구하고 있고, 補整係數를 구하는 過程이 複雜할 뿐만 아니라, 基本的인 單調列을 AHP에서 구한 重要度의 單調列을 그대로 使用하고 있으며, 綜合的인 評價時에 全階層에서 퍼지 積分을 採用함으로써 計算이 複雜하고, 경우에 따라 階層別 相互關聯係數를 求해야 한다는 問題點을 지니고 있다.

따라서, AHP에서 구한 重要度와 相互關聯係數로 부터 直接 퍼지 測度를 求할 수 있고, 階層이 複雜한 構造에 對應할 수 있는 보다 簡便한 綜合評價法을 構築할 必要가 있다.

以上으로 부터 HFI 및 HFP의 評價 알고리즘을 對比하면 아래와 같다.

Table 5.1 Comparision of HFI & HFP Algorithm

단계	HFI 알고리즘	HFP 알고리즘
1	◦AHP에 의해 중요도 w 를 구한다. ◦퍼지값 h(·)를 구한다.	좌 동
2	◦상호작용계수 λ를 조사한다.	좌 동
3	◦ w, λ 를 이용하여 보정계수 c를 구하고 퍼지측도를 근사적으로 동정한다.	◦ w , λ 로 부터 퍼지측도를 직접 구한다.
4	◦퍼지 적분에 의해 전계층의 통합평가를 행한다.	◦최하위 계층의 통합평가에만 퍼지적분을 이용하고, 나머지 계층은 단순가중 평가법을 사용한다.

또한, 本 硏究에서는 AHP法과 旣存의 HFI法을 適用한 事例에 새로운 평가방법인 HFP法을 適用하여 評價한 결과 항목간 중요도가 인정되는 데에도 불구하고 AHP法을 사용한 문제의 경우에는 그 評價値가 달라져서 項目間 評價順位도 달리 나타나는 것을 확인하였으며, 旣存의 HFI法을 사용한 경우는 輕微한 評價値의 變化가 감지되기는 하였으나, 項目間 評價順位의 變動이 일어나지는 않았다.

그러나 기존의 HFI法을 적용하였을 때에 비해 새로운 HFP法을 적용함으로 인하여 획득한 時間과 勞力의 節減은 매우 컸다. 지금까지 HFI法이나 HFP法을 사용하는데 있어 重複度 係數 λ나 項目의 重要度를 決定하기 위해서는 一律的으로 設問에 依存하는 方法을 사용할 수 밖에 없었다. 그러나 問題가 定義可能한 형태이거나 定量的으로 分析이 可能한 경우, 그리고 이와는 대조적으로 그 형태가 定性的이어서 設問을 통하여 分析할 수 밖에 없는 경우를 각각 나누어 λ를 求하는 방법에 대하여 具體的으로 檢討하는 것이 앞으로 研究해야될 課題中 하나이다.

参 考 文 獻

[1] T. L. Saaty, The Analytic Hierarchy Process, Mcgraw-Hill Book Co., 1977, pp. 3-6.

[2] T. Murofushi, Fuzzy Measure and Its Applications, 韓國퍼지學會 釜山・慶南支會 招請 講演 資料, 1992, pp. 1-20.

[3] H. Shiizuka and T. Sugiyama, On Decision Making by Hierarchical Fuzzy Integrals, 8th Fuzzy System Symposium, 1992. 5, p. 33-50.

[4] M. Sugeno, Theory of Fuzzy Integral and Its Applications, ph.D Thesis, Tokyo Institute of Technology, 1974, pp. 18-55.

[5] 李哲榮・寺野壽郎, スートーリ評價のモデル化, 日本計測制御學會論文集 第17卷第1號, 1981, pp. 43-48.

[6] 菅野道夫, Fuzzy 測度の構成と Fuzzy 積分による パターンの 類似度評價, 日本 計測自動制御學會論文集 第9卷 第3號, 1973, pp. 363.

[7] 本多中二・大里有生, システム工學入門, 東京, 海文堂, 1989, pp. 126.

[8] 이광형・오길록, /퍼지이론 및 응용 I 卷/, 홍릉과학출판사, pp. 9-26, 1991.

[9] 李哲榮・ 李石泰, 相互聯關性을 지닌 階層構造型 問題의 評價 알고리즘, 韓國港灣學會誌 第9卷 第1號, 1993, 6, pp. 5-12.

[10] 具滋允, 階層分析法에 의한 船舶 接離岸 安全性의 評價方案, 韓國航海學會誌 第18卷 第4號, 1994, 11, 30, pp. 33-47.